

УДК 539.3

О.А.Григорьева (6 курс, каф. МВТС), А.С.Большев, д.т.н., проф.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РАЙЗЕРОВ МОРСКИХ ПЛАВУЧИХ ПЛАТФОРМ

Современное освоение шельфа имеет тенденцию к выходу на большие глубины. В связи с этим райзеры подвергаются воздействию больших давлений и низких температур окружающей среды. Циклическое воздействие на райзеры оказывают волны, течение, а также перемещения платформы. Колебания райзеров оказывают влияние на продолжительность их безаварийной работы, так как вызывают усталость материала конструкции.

В результате моделирования напряженного состояния элемента райзера при помощи безынерционного упругого стержня прямолинейного в недеформированном состоянии, и предположения, что нагрузка монотонно изменяется вдоль длины этого стержня, известны выражения для изгибающего момента и перерезывающей силы.

$$\underline{M}(s) = \underline{M}(0) - s \underline{\tau}_d \times \underline{Q}(0) - \frac{f_0}{\nu^2} [\underline{n}_0 (\cos \nu s - 1) + \underline{\tau} \times \underline{n}_0 (\sin \nu s - \nu s)], \quad (1)$$

$$\underline{Q}(s) = \underline{Q}(0) + \frac{f_0}{\nu} [\underline{\tau} \times \underline{n}_0 \sin \nu s - \underline{n}_0 (1 - \cos \nu s)]. \quad (2)$$

где s – произвольное сечение элемента райзера; $\underline{M}(0)$, $\underline{Q}(0)$ – изгибающий момент и перерезывающая сила в сечении райзера $s = 0$; f_0 – величина внешней нагрузки, монотонно изменяющейся по длине элемента; ν – отношение угла поворота нагрузки к длине элемента, \underline{n}_0 – орт направления нормальной нагрузки при $s = 0$; $\underline{\tau}_d$ – орт направления элемента райзера.

Данные выражений (1) и (2) используются для определения напряжений в райзере. Напряжения определяются по процедурам, предлагаемым технической теорией стержней.

Нормальное и касательное напряжения определяются соотношениями:

$$\sigma = |\underline{M}| / W, \quad \tau = |\underline{Q}| S / 2I, \quad (3)$$

где W – момент сопротивления сечения; S – статический момент сечения.

Напряжения от гидростатического давления определяются по формуле:

$$\sigma_\theta = |\underline{P}_w| D_o / 2(D_o - D_i), \quad (4)$$

где \underline{P}_w – гидростатическое давление воды; D_o – внешний диаметр райзера, D_i – внутренний диаметр райзера.

Прочность райзера проверяется по следующим соотношениям:

$$\frac{\sigma_{\max}}{[\sigma]} + \frac{\tau_{\max}}{[\tau]} \leq 1, \quad \frac{\sigma_\theta}{[\sigma_\theta]} \leq 1, \quad (5)$$

$$[\sigma] = \gamma_c R, \quad [\tau] = \gamma_c R_s, \quad [\sigma_\theta] = \gamma_c R, \quad (6)$$

где σ_{\max} и τ_{\max} – наибольшие нормальное и касательное напряжения, соответственно; $[\sigma]$, $[\tau]$, $[\sigma_\theta]$ – предельно-допустимые нормальное, касательное и гидростатическое напряжения, соответственно; γ_c – коэффициент условий работы, принимает значения в пределах $0.75 \div 1.0$; R – расчетное сопротивление материала:

$$R = R_n / \gamma_m, \quad (7)$$

где R_n – нормативное сопротивление материала. За нормативное сопротивление пластичных материалов принимается предел текучести σ_θ , хрупких – временное сопротивление σ_a ; γ_m – коэффициент надежности по материалу; R_s – расчетное сопротивление материала при сдвиге, $R_s \approx 0.6R$.

При помощи нормальных и касательных напряжений, значения которых известны из выражений (3), можно оценить надежность системы райзеров плавучей платформы при помощи анализа усталости.

Для осуществления усталостного анализа необходимо реализовать процедуру полновероятностного моделирования и получить число напряжений различного уровня в каждом райзере.

В данном случае при моделировании надо реализовать почти все режимы (исключая только штиль), так как важную роль в данном случае играет число циклов нагружения.

Сначала вся совокупность ветро-волновых режимов в заданной акватории разбивается на ряд краткосрочных стационарных режимов. Для каждого i -го режима ($i = 1, 2, \dots, N$) задается вероятность его возникновения P_i , временная длительность T_i и спектр $S_i(\omega, \theta)$, направление и скорость ветра и течения. Задается также общее время, в течение которого будут анализироваться усталостные эффекты – T_0 . Исключается только штиль. На основании $S_i(\omega, \theta)$ осуществляется численное моделирование процессов взаимодействия нерегулярного волнения с сооружением в течение временного отрезка T_i с учетом нелинейных факторов. По результатам моделирования во временной области рассчитывается число циклов нагружения каждой связи в каждом из i -х режимов. При этом ранжируются напряжения в связи ($j = 1, 2, 3, \dots, n$) и вычисляется, сколько циклов нагружения $N_{i,j}$ с напряжением σ_i произошло в i -ом режиме. Напряжение σ_i является наибольшим главным напряжением, определяемым по следующей формуле:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{i,j}}{2} + \sqrt{\frac{\sigma_{i,j}^2}{4} + \tau_{i,j}^2}, \quad (8)$$

где $\sigma_{i,j}$, $\tau_{i,j}$ – определяются из выражений (3).

Вычисляется, сколько циклов нагружения произойдет за весь анализируемый интервал времени T_0 :

$$n_j = \sum_i \frac{N_{i,j} P_i T_0}{T_i}. \quad (9)$$

Оценивается итоговый критерий усталостной прочности связи:

$$\sum_j \frac{n_j K_{S-F}}{N_{j,S-F}} < 1.0, \quad (10)$$

где K_{S-F} – коэффициент запаса; $N_{j,S-F}$ – максимально допустимое для данной связи число циклов нагружения с напряжением σ_j .

Процедура заканчивается установлением факта усталостного разрушения или не разрушения райзера. Можно изменить задачу так, чтобы подбирать минимальное время T_0 , за которое происходит разрушение первого райзера.